

Efektifitas Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Sidoarjo Menjadi Air Bening Non-Konsumsi Menggunakan Integrasi *Flocculation Coagulation* dan *Constructed Wetland*

Cyntia Puspa Febriyanti

Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: cyntiafebriyanti@mhs.unesa.ac.id

Prof. Dr. E. Titiek Winanti, M.S.

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: titiekwinanti@unesa.ac.id

Abstrak

Batik tulis memiliki peran penting dalam meningkatkan perekonomian Indonesia. Namun, industri batik juga memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Air limbah selama proses produksi batik merupakan senyawa yang tidak dapat terurai dan sulit untuk dihilangkan dengan pengolahan limbah konvensional, sehingga berbahaya bagi lingkungan maupun kesehatan apabila dibuang ke lingkungan tanpa dilakukan pengolahan. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan efektifitas integrasi *flocculation coagulation* dengan natural koagulan *Moringa oleifera* seed powder (bubuk biji kelor) dan Horizontal Subsurface Flow *Constructed Wetland* menggunakan media pasir, kerikil, dan tanaman bambu air (FC-HSSFCW) dalam mengolah air limbah batik pada proses boiling secara ekonomis, efektif dan ramah lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan bubuk biji kelor dengan dosis 750 mg/l pada FC-HSSFCW dengan waktu retensi (HRT) 5 hari mampu menetralkan pH menjadi 7.33 dan menurunkan COD, TSS, dan minyak lemak yang masing-masing sebesar 89.3%; 98.1%; dan 92.1%. Air hasil pengolahan limbah batik belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan oleh Permen LH RI No. 5 Tahun 2014 sehingga belum aman untuk dibuang ke lingkungan, namun air hasil olahan ini memenuhi persyaratan untuk dimanfaatkan sebagai air campuran beton. Penelitian lebih lanjut diperlukan dalam pengoptimalan hasil pengolahan menggunakan FC-HSSFCW, baik melalui perbaikan sistem dalam teknologi tersebut maupun dengan penambahan teknologi sebelum melalui teknologi integrasi.

Kata Kunci: Limbah industri batik, *flocculation coagulation*, *Moringa oleifera* seeds powder, *constructed wetlands*, *Equisetum hyemale*.

Abstract

Handwritten batik has an important role in improving the Indonesian economy. However, batik industry also has a negative impact on the environment. Wastewater during the batik production process is a compound that cannot be decomposed and is difficult to be removed by conventional waste treatment, making it dangerous for the environment and health if discharged into the environment without treatment. This study aims to find the effectiveness of the integration of *flocculation coagulation* with natural coagulant *Moringa oleifera* seeds powder and Horizontal Subsurface Flow *Constructed Wetland* using filter-bed: sand, gravel, and bamboo plants (FC-HSSFCW) in treating batik wastewater in the boiling process economically, effectively and environmentally friendly. The results showed that the addition of *Moringa* seed powder at a dose of 750 mg/l to FC-HSSFCW with a retention time (HRT) of 5 days was able to neutralize the pH to 7.33 and reduce COD, TSS, and fat oil respectively by 89.3%; 98.1%; and 92.1%. The effluent from batik waste treatment does not meet the quality standards by government, Permen LH RI No. 5 Tahun 2014, so it is not safe to be discharged into the environment, but this treated water meets the requirements to be used as concrete mixed water. Further research is needed in optimizing the results of processing using FC-HSSFCW, both through improving the system in the technology nor by adding technology before going through the integration of this technology.

Keywords: Batik wastewater, *flocculation coagulation*, *Moringa oleifera* seeds powder, *constructed wetlands*, *Equisetum hyemale*.

PENDAHULUAN

Batik merupakan merupakan komoditi atristik kreatif dan menjadi salah satu produk budaya tertua di Indonesia (Mukimin, et al., 2018; Zahidi, 2017). Industri batik tersebar luas di 38 daerah di Pulau Jawa (Mukimin, et al., 2018; Nurhasanah, et al., 2016) dan semakin bertambah

jumlahnya dengan adanya deklarasi batik sebagai *Intangible Cultural Heritage of Humanity of Indonesia* oleh UNESCO (Mukimin, et al., 2018). Industri batik memiliki kontribusi penting dalam perekonomian Indonesia didukung oleh hasil *survey* yang menyatakan bahwa 72,861,800 penduduk Indonesia menggunakan batik setidaknya sebulan sekali (Steelyana, 2012) dan

meningkatnya nilai ekspor batik Indonesia sebesar 1445% dalam 5 tahun terakhir (Zahidi, 2017).

Dibalik kontribusi batik terhadap pertumbuhan ekonomi, industri batik memiliki dampak negatif terhadap lingkungan akibat air limbahnya selama proses pembuatan (Mukimin, et al., 2018). Air limbah yang dihasilkan oleh industri tekstil sangat kompleks, tidak dapat terurai (Raman & Kanmani, 2016) dan sulit untuk dihilangkan dengan menggunakan pengolahan limbah konvensional (Khalik, et al., 2015) sehingga menyebabkan tingginya kandungan COD, BOD, TSS, dan zat pewarna (Birgani, et al., 2016). Air limbah batik menjadi sangat berbahaya karena banyaknya penggunaan volume air dan bahan kimia oleh industri batik (El Enshasy, et al., 2017) dimana sebagian besar merupakan industri berbasis keluarga yang relatif kecil dan tidak memiliki unit pengolahan air limbah (Birgani, et al., 2016; Mukimin, et al., 2018).

Berbagai jenis pengolahan air limbah batik telah diterapkan, seperti *solar photocatalytic process* (Khalik, et al., 2015), *physical treatment* (Rashidi, et al., 2013), *TiO₂ nanoparticles coated on the surface of plastic sheet* (Sutisna, et al., 2017), *bioequalization* dan *electrocatalytic* (Mukimin, et al., 2018), *engineering wetlands* dan *nantofiltration membrane* (Rashidi, et al., 2012), namun masih memiliki kekurangannya masing-masing (Raman & Kanmani, 2016; Birgani, et al., 2016). Oleh karena itu, muncul kebutuhan berkelanjutan pada teknologi baru yang dapat mengolah air limbah batik secara ekonomis, efektif (Raman & Kanmani, 2016) dan ramah lingkungan.

Constructed Wetlands (CWs) bisa dipakai sebagai media ramah lingkungan untuk mengolah polutan yang terkandung dalam air limbah. CWs memiliki kelebihan yaitu memanfaatkan proses alami yang melibatkan vegetasi (Vymazal, 2014; ElZein, et al., 2016), tidak membutuhkan biaya operasional yang mahal (ElZein, et al., 2016), dan mampu menghapus kontaminan terlarut dari industri (Vymazal, 2014). Empat komponen utama yang membentuk CWs yaitu air, media, mikroba dan vegetasi yang mampu mentoleransi paparan limbah dengan konsentrasi tinggi (Shelef, et al., 2013). *Equisetum Hyemale* memiliki akar, batang yang kuat dan daun yang berperan dalam proses penyerapan dan adsorpsi logam berat dalam limbah (Indro Wardono, et al., 2017).

Tingginya TSS pada air limbah batik mengakibatkan terjadinya penyumbatan pada media, yang mana merupakan ancaman besar bagi kinerja sistem CWs, terutama pada *subsurface* CWs (Kadlec & Wallace, 2009; Wallace & Knight, 2006). Hal tersebut mendorong kebutuhan pada unit *pre-treatment* mekanis sebelum air limbah dialirkan ke sistem CWs (Vymazal, et al., 1998). *Flocculation coagulation* merupakan teknik *pre-treatment* yang paling banyak digunakan dalam mengolah limbah tekstil (Rao, 2015) dengan keunggulan yaitu teknik yang

sederhana, (Rao, 2015), jumlah koagulannya tersedia banyak (Freitas, et al., 2015), dan efektif serta ekonomis dalam mengolah air limbah yang mengandung zat pewarna (Shamsnejati, et al., 2015).

Disisi lain, koagulan kimia pada *flocculation coagulation* memiliki beberapa kelemahan, yaitu biaya koagulan yang mahal, perawatan yang susah (Formentini-Dchmitt, et al., 2013), memproduksi lumpur dalam volume yang besar (Dehghani & Alizadeh, 2016), dan menghasilkan aluminium dan besi (Formentini-Dchmitt, et al., 2013) di mana residu aluminium dalam air dapat menyebabkan penyakit *Alzheimer* dan *neurodegeneratif* (Egbuikwem & Sangodoyin, 2013; Madrona, et al., 2017). Kekurangan tersebut mendorong adanya penelitian potensi natural koagulan (Formentini-Dchmitt, et al., 2013), salah satunya yaitu *Moringa Oleifera* yang terbukti sangat efektif sebagai koagulan utama (Egbuikwem & Sangodoyin, 2013; Madrona, et al., 2017) dengan toksisitas rendah (Charoenlarp & Prabphane, 2015) dan sebanding dengan Alum, koagulan kimia (Chusan, et al., 2014; Egbuikwem & Sangodoyin, 2013).

Pada penelitian ini, pengolahan secara sekuensial dikembangkan melalui pemahaman karakteristik air limbah batik untuk mencari teknologi pengolahan yang efektif, ekonomis dan ramah lingkungan menggunakan integrasi *flocculation coagulation* dan *Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland* (FC-HSSFCW). Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui efektifitas dari FC-HSSFCW dalam mengolah air limbah batik.

METODE

A. Sampel Air Limbah

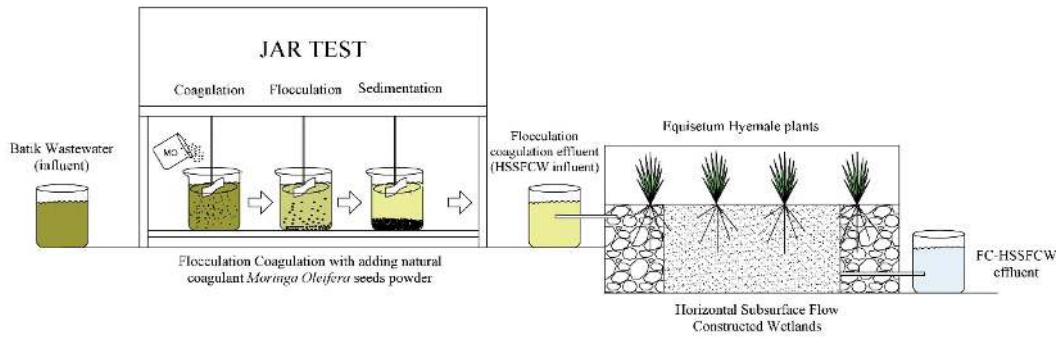
Sampel air limbah batik diambil dari industri batik berbasis keluarga yaitu Batik Tulis Namiroh yang terletak di Kelurahan Jetis gang III, RT 13/RW 03, No. 102, Kecamatan Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia. Sampel yang dipilih adalah air limbah pada proses pendidihan. Proses pendidihan atau disebut dengan nglorod dipilih karena pada proses tersebut, penguapan air menyebabkan semakin tingginya konsentrasi zat kimia dan adanya lilin pada proses tersebut menyebabkan nilai COD lebih tinggi daripada air limbah pada proses lainnya (Birgani, et al., 2016).

B. Instrumen Penelitian

Kompleksitas polutan yang terkandung dalam air limbah industri batik mendorong kebutuhan berkelanjutan pada teknologi baru yang ekonomis, efektif, dan ramah lingkungan. Berdasarkan pemahaman pada karakteristik air limbah batik, muncul pengembangan teknologi berupa integrasi atau penggabungan 2 teknologi yang bekerja secara sekuensial yaitu *flocculation coagulation* menggunakan *Moringa Oleifera* dan *Horizontal*

Subsurface Constructed Wetland (HSSFCW) dengan media pasir, kerikil, dan tanaman *Equisetum Hyemale*.

Ilustrasi rancangan integrasi teknologi tersebut dapat dilihat pada Gambar.1.



Gambar.1 Ilustrasi rancangan teknologi integrasi *flocculation coagulation* dan HSSFCW

C. Persiapan natural koagulan

Moringa oleifera (MO) dikeringkan dibawah sinar matahari dan dihaluskan hingga menjadi bubuk (Sari, et al., 2016). Bubuk MO dipanaskan dalam oven pada suhu 105°C selama 5 jam (Dehghani & Alizadeh, 2016) dan disaring menggunakan (100 mesh \geq bubuk MO \geq 60 mesh) (Sari, et al., 2016). Sepuluh gram bubuk MO dilarutkan ke dalam satu liter air suling kemudian diaduk selama 3 menit pada kecepatan 120 rpm (Dehghani & Alizadeh, 2016) sehingga didapatkan larutan yang setiap 1 ml mewakili 10 mg/l ketika ditambahkan pada 1000 ml air limbah (Satterfield, 2005). Larutan MO disaring untuk mendapatkan koagulan yang bebas dari material tersuspensi. Larutan yang sudah disaring menghasilkan dosis 750 mg/l dan 1500 mg/l, kemudian disimpan pada tempat dengan suhu maksimum 20°C untuk menghindari perubahan pH dan viskositas (Dehghani & Alizadeh, 2016).

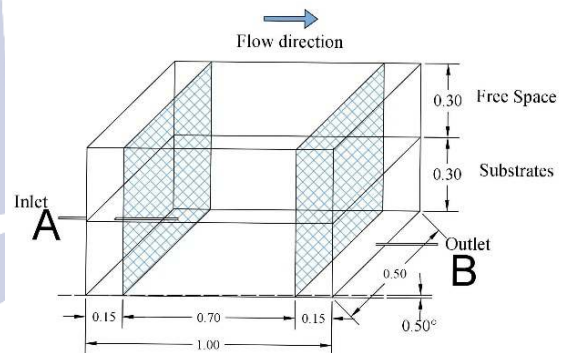
D. Proses flokulasi koagulasi

Proses pengolahan air limbah batik pada tahap *flocculation coagulation* dilakukan menggunakan alat *jar-test*. Pada alat *jar-test*, 500 ml air limbah batik dituangkan ke dalam *beaker glass* dan ditambahkan larutan MO sesuai dosis. Proses dilanjutkan dengan step pertama yaitu *rapid mixing* kecepatan 300 rpm selama 1 menit, kemudian *slow mixing* dengan kecepatan 40 rpm selama 20 menit (Dehghani & Alizadeh, 2016) dan pengendapan selama 30 menit untuk mengendapkan flok (Dehghani & Alizadeh, 2016).

E. Persiapan reaktor *constructed wetlands* (CWs)

Tipe CWs yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *horizontal subsurface flow* (HSSFCW). Reaktor merupakan pot kaca yang memiliki dimensi (50 x 100 x 60) cm³ dengan media tanam sedalam 30 cm yang berupa kerikil (ukuran 3/4) diletakkan sejauh 15 cm

dari tepi *reactor* dan pasir (lolos ayakan nomor 10 mesh tertahan 60 mesh) sejauh 70 cm dari media kerikil. Desain perencanaan HSSFCW dapat dilihat pada Gambar 2. Media tanam disyaratkan bersih, keras, *durable*, dan tidak berubah bentuk untuk menjaga permeabilitas tanah (Qomariyah, et al., 2017).



Gambar 2. Desain reaktor HSSFCW

Free space dari media tanam hingga permukaan kaca pada penelitian ini digunakan 30 cm yang mana kurang dari yang disyaratkan yaitu 40 cm (Kadlec & Wallace, 2009) dengan kepadatan tanaman *Equisetum Hyemale* yaitu 8 tanaman per m² (Billore, et al., 2009) dan memiliki interval 25 cm (Qomariyah, et al., 2017). Aklimatisasi dilakukan selama 17 hari dimana 10 hari pertama menggunakan air sumur dan 7 hari selanjutnya menggunakan air limbah secara bertahap, yaitu sebanyak 25%, 50%, 75% dan 100% (Wardono, et al., 2017). Air olahan flokulasi koagulasi di alirkan menuju HSSFCW dengan debit dan waktu retensi yang dianalisis yaitu 3 hari, 5 hari, dan 7 hari. Air olahan diuji pH, COD, TSS, dan minyak lemak. Debit air limbah yang mengalir ke CWs dihitung menggunakan hukum Darcy (Wallace & Knight, 2006):

$$Q = k_s \times A_c \times S_w \quad (1)$$

Dimana:

Q = debit yang masuk ke CWs, m³/hari

k_s = konduktivitas hidraulik atau permeabilitas, m/hari

A_c = luasan media yang terendam, m²

S_w = kemiringan reaktor, m/m

Merujuk pada Persamaan. (1), nilai k_s diasumsikan sebesar 20 m/hari (De Paoli & Sperling, 2013) dan nilai S_w disyaratkan bahwa kemiringan CWs kurang dari 1% sehingga diambil 0.5% (Mghaoui, 2018).

F. Analisis Data

Pengukuran kualitas air yang digunakan yaitu pH, COD, TSS, dan minyak lemak. Pengukuran dilakukan pada air limbah batik sebelum melalui pengolahan untuk mengetahui karakteristik air limbah batik yang akan diteliti. Hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia (Permen LH RI) No. 5 Tahun 2014.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik air limbah batik Jetis Sidoarjo pada Tabel 1 apabila dibandingkan dengan baku mutu air limbah

tekstil yang diatur dalam Permen LH RI No.5 Tahun 2014 memiliki tingkat pencemar yang tinggi dan tidak aman untuk dibuang langsung ke lingkungan. Nilai parameter pH, COD, TSS, dan minyak lemak masing-masing sebesar 4.55; 12,000 mg/l; 3,180 mg/l dan 9,740 mg/l. Hasil penelitian ini selaras dengan penelitian terdahulu yang menunjukkan kadar tertinggi air limbah batik yaitu COD (Eskani, et al., 2005; Efendi, et al., 2015; Khalik, et al., 2015; Mukimin, et al., 2018). Tingginya COD air limbah tekstil dikarenakan deterjen yang meningkatkan reaksi kimia antar bahan organik (Al-Gheeti, et al., 2017).

Pengujian parameter pH, COD, TSS dan minyak lemak setelah melalui proses *flocculation coagulation* dan setelah melalui FC-HSSFCW pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa terjadi pengurangan polutan namun masih belum memenuhi baku mutu air limbah. Air hasil olahan *flocculation coagulation* yang dialirkan menuju HSSFCW yaitu air olahan dengan dosis 750 mg/l yang mana hasil tersebut merupakan hasil yang paling optimum. Penggunaan FC-HSSFCW lebih efektif pada HRT 5 hari dan mampu mengolah air limbah batik dengan menetralkan pH menjadi 7,33; menghapus COD, TSS, dan minyak lemak masing-masing menjadi 1.280 mg/l; 60 mg/l; dan 774 mg/l.

Tabel 1 Rerata hasil uji pengolahan air limbah batik menggunakan integrasi FC-HSSFCW

Parameter	Satuan	Batik Wastewater	Flocculation Coagulation		FC-HSSFCW			Baku Mutu
			750 mg/l	1500 mg/l	3 hari	5 hari	7 hari	
pH	-	4.55	4.97	5.14	7.16	7.33	7.52	6-9
COD	mg/l	12,000	4,320	4,720	1,320	1,280	1,360	150
TSS	mg/l	3,180	690	164	88	60	98	50
FOG	mg/l	4,970	2,632	2,876	800	774	824	3.0

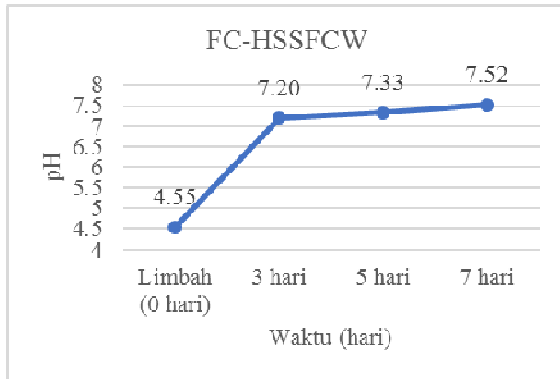
A. Pengaruh FC-HSSFCW terhadap pH

FC-HSSFCW dengan penambahan larutan *Moringa Oleifera* (MO) dosis 750 mg/l mampu menaikkan pH dari 4.55 menjadi 7.33 pada HRT 5 hari yang dapat dilihat pada Gambar 3. Efisiensi koagulan MO sangat baik pada pH asam < 6 dan pH > 11 (Tunggolou & Payus, 2017). MO memiliki kandungan protein yang berada di kulit dan bijinya dimana pada protein tersebut terdapat asam amino alkali yang menerima proton dari molekul air sehingga menghasilkan pelepasan gugus hidroksil (Olanrewaju, et al., 2018; Hendrawati, et al., 2016; Tunggolou & Payus, 2017; Amagloh & Benang, 2009). Hal tersebut menyebabkan larutan menjadi basa atau mendekati netral (Hendrawati, et al., 2016; Olanrewaju, et al., 2018). Hasil penelitian ini selaras dengan penelitian Hendrawati (Hendrawati, et al., 2016)

yang menunjukkan penambahan larutan MO dengan dosis 100 mg/l menaikkan pH 5.10 menjadi 6.20.

Kenaikan nilai pH juga dipengaruhi oleh kinerja dari HSSFCW. Perubahan pH dari HSSF dapat mencerminkan proses mikrobial (Duran-Dominguez-de-Bazua, et al., 2018; Kadlec & Wallace, 2009) dan interaksi antara substrat dan biofilm-nya (Wallace & Knight, 2006; Kadlec & Wallace, 2009). Penggunaan agregat serpih sebagai media tanam meningkatkan effluen pH antara 8-9 (Wallace & Knight, 2006) sedangkan penggunaan *zeolite* atau *expanded clay* menyebabkan media tanam menjadi basa dan menciptakan pH yang tinggi pada effluent (Kadlec & Wallace, 2009). Air hasil olahan CWs yang memiliki alkali tinggi juga diakibatkan dengan tingginya kehadiran senyawa kalsium, karena hidrolisis senyawa kalsium

menghasilkan ion hidroksil yang meningkatkan pH larutan selama proses denitrifikasi di CWs (Travaini-Lima & Sipaubat-Travars, 2012; Kadlec & Wallace, 2009). Banyak bakteri yang berfungsi sebagai pengolahan tidak dapat hidup di luar kisaran $6,5 < \text{pH} < 7,5$ (Kadlec & Wallace, 2009). Penyimpangan dari kisaran tersebut dapat menghentikan fungsi dari metana untuk membentuk bakteri pada HF wetlands dan dapat menghasilkan senyawa yang berbau (Suswati & Wibisono, 2013).



Gambar 3. Pengaruh FC-HSSFCW terhadap pH

B. Pengaruh FC-HSSFCW terhadap COD

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan sebuah pengukuran dari oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik terlarut dan partikulat di dalam air (Wallace & Knight, 2006; Realtech Inc, 2018). Pada penelitian ini, penurunan COD paling optimum terjadi pada HRT 5 hari sebesar 89.33% yang tertera pada Gambar 4. Penurunan COD pada proses *flocculation coagulation* dikarenakan kemampuan protein dalam *Moringa Oleifera* (MO) yang mampu mendegradasi senyawa organik dalam air limbah (Al-Gheeti, et al., 2017). Penggunaan natural koagulan MO yang melebihi batas dosis optimumnya menyebabkan meningkatnya kandungan COD dalam air olahan (Ndabigengesere & Narasiah, 2010; Chusan, et al., 2014; Efendi, et al., 2015). Hal tersebut dikarenakan pada flokulasi koagulasi beberapa bahan organik tidak berpartisipasi dan tertinggal dalam air olahan (Efendi, et al., 2015; Ndabigengesere & Narasiah, 2010).

Penurunan COD juga dibantu oleh aktivitas dalam HSSFCW. Bahan organik terdegradasi dalam proses multi-step yang terjadi secara aerob dan anaerob. Pada kondisi aerob, mikroorganisme menyederhanakan polimer menjadi monomer seperti asam amino, asam lemak, dan monosakarida (Vymazal & Kröpfelová, 2009; Qin & Chen, 2016). Group bakteri autotropik yang mendegradasi komponen organik dibawah kondisi aerob disebut dengan nitrifying bacteria, yang

prosesnya disebut dengan ammonification (Vymazal, et al., 1998). Bakteri Anammox turut menurunkan COD via denitrifikasi.

Degradasi anaerob terdiri dari proses dua langkah yang dilakukan oleh bakteri heterotrofik anaerob. Pada langkah pertama melalui fermentasi, bakteri pembentuk asam mengubah bahan organik menjadi sel baru, asam organik, dan alkohol (Saeed & Sun, 2012). Kelompok kedua, yang dikenal sebagai bakteri pembentuk logam melanjutkan oksidasi (methanogenesis) (Saeed & Sun, 2012), menguraikan monomer menjadi karbon dioksida dan metana (CO_2 dan CH_4) (Vymazal & Kröpfelová, 2009; Qin & Chen, 2016; Saeed & Sun, 2012). Kedua kelompok memainkan peran penting dalam dekomposisi materi anorganik dan siklus karbon di CWs (Vymazal & Kröpfelová, 2009). Hampir semua biodegradasi terjadi pada permukaan biofilm, yang meliputi sedimen, tanah, media, dan biomassa tanaman yang terendam (Wallace & Knight, 2006).

C. Pengaruh FC-HSSFCW terhadap TSS

Hasil pengolahan air limbah pada penelitian ini menunjukkan adanya penurunan pada parameter TSS sebesar 98.11% yang dapat dilihat pada Gambar 4. *Moringa Oleifera* (MO) memiliki *basic polypeptides* dengan berat molekul bekisar antara 6000 hingga 16000 Daltons yang mana merupakan faktor utama penjernihan (Efendi, et al., 2015; Idris, et al., 2016). Cara kerja komponen koagulasi pada protein MO dalam mengurangi TSS yaitu diasumsikan protein bermuatan positif menempel pada bagian permukaan partikel bermuatan negatif, seperti tanah liat, bakteri, debu, dan lainnya melalui interaksi elektrostatis (Amagloh & Benang, 2009; Idris, et al., 2016).

Natural koagulan MO mampu menghapus konsentrat TSS lebih besar pada dosis yang lebih tinggi (Olanrewaju, et al., 2018) dikarenakan MO yang memiliki mekanisme adsorpsi (penyerapan) dan netralisasi partikel (Hendrawati, et al., 2016; Olanrewaju, et al., 2018) yang menyebabkan semakin tingginya proses mekanisme tersebut seiring dengan penambahan dosis. Selain itu, MO sebagai koagulan utama lebih efektif mengolah air dengan kekeruhan yang tinggi (Bichi, 2013; Camacho, et al., 2016) dikarenakan tingginya tingkat kontak antar partikel pada sistem tersebut (Bichi, 2013).

Pada HSSFCW, ketika air limbah memasuki *wetlands*, kecepatan aliran air sangat berkurang (Wallace & Knight, 2006) ditambah dengan hadirnya pasir/kerikil (Kadlec & Wallace, 2009), sehingga memungkinkan padatan tersuspensi untuk *settle* (Wallace & Knight, 2006) dan intersepsi (Kadlec & Wallace, 2009). Kecepatan yang lambat dan banyaknya

permukaan intersepsi yang ada membantu masing-masing mekanisme pengurangan sedimen yaitu melalui **sedimentasi** (Andreo-Martínez, et al., 2016; Vymazal, et al., 1998; Wallace & Knight, 2006; Weerakoon, et al., 2018; Mustafa, 2013), **agregasi atau flokulasi** (Mustafa, 2013; Wallace & Knight, 2006), **intersepsi atau filtrasi** (Mustafa, 2013; Weerakoon, et al., 2018; Andreo-Martínez, et al., 2016; Vymazal, et al., 1998; Wallace & Knight, 2006; Kadlec & Wallace, 2009).

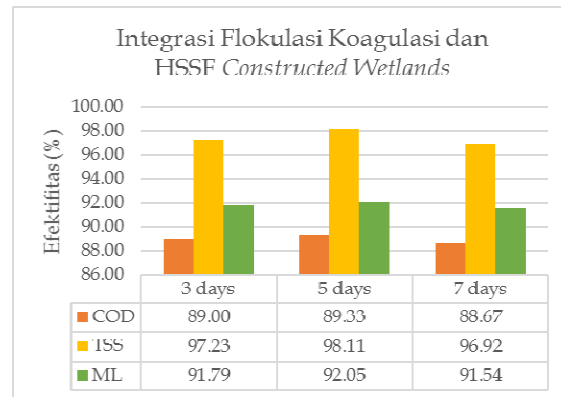
Beberapa kontribusi lainnya dalam menurunkan kadar TSS adalah kontribusi tanaman dimana akar menghambat aliran air sehingga memberikan kesempatan untuk bersedimentasi, agregasi, maupun intersepsi dan kontribusi mikrobial dimana *mirobial biomass* menangkap padatan organik dan anorganik, kemudian membentuk material komposit yang terkandung dalam lapisan yang dinamakan dengan *biomat/biosolids/sludge* (Kadlec & Wallace, 2009).

D. Pengaruh FC-HSSFCW terhadap minyak lemak

Penurunan konsentrat minyak lemak pada penelitian ini menunjukkan adanya penurunan sebesar 92.05% yang dapat dilihat pada Gambar 4. Hasil penurunan kandungan minyak dan lemak pada penelitian ini selaras dengan penelitian terdahulu yang menghilangkan 98.25% minyak lemak dengan bantuan mikroba *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas aeruginosa* pada CWs (Mustafa, 2013). *Constructed Wetlands* (CWs) mampu mengolah minyak dan lemak dalam air limbah dikarenakan beberapa mikrofit atau tumbuhan telah terbukti efektif dalam mendegradasi kontaminan. Bagian tumbuhan, khususnya akar memiliki produksi *biomass* yang tinggi, asimilasi, dan penyimpanan jangka panjang terhadap polutan organik dan non organik, begitu juga dengan kemampuan alamnya dalam mengolah air limbah yang terkontaminasi dengan minyak dan lemak (Mustafa, 2013). Lipid, asam lemak, triasilgliserol, dan hidrokarbon terlarut yang terdapat dalam minyak lemak (Husain, et al., 2014) dapat terurai oleh mikroorganisme yang hidup dalam *constructed wetlands* secara aerob (Vymazal & Kröpfelová, 2009). Minyak dan lemak yang berupa padatan akan tersaring oleh media CWs dengan bantuan *biofilm* sehingga menempel diantara rongga-rongga antar media.

Pada proses *flocculation coagulation*, *Moringa oleifera* (MO) mampu menurunkan konsentrasi minyak lemak tanpa dibutuhkannya ekstraksi minyak pada MO (Camacho, et al., 2016). Namun, selama proses *flocculation coagulation* kandungan minyak pada MO tidak terhapus sepenuhnya (Chusan, et al., 2014) dan air ekstrak dari bubuk biji kelor tanpa pengolahan atau tanpa ekstraksi mengandung konsentrasi minyak lemak

dan protein yang cukup besar yaitu 29.5% (Camacho, et al., 2016). Berdasarkan hal tersebut, semakin tinggi dosis MO menyebabkan tingginya kandungan minyak lemak pada air olahan.



Gambar 4. Efektifitas pengolahan FC-HSSFCW terhadap COD, TSS, dan minyak lemak

E. Pengoptimalan peran FC-HSSFCW

Pengolahan air limbah batik menggunakan FC-HSSFCW masih belum memenuhi baku mutu air limbah yang tercantum dalam Permen LH RI No. 5 Tahun 2014. Pengoptimalan teknologi FC-HSSFCW dapat dilakukan melalui perbaikan sistem dalam teknologi tersebut maupun dengan penambahan teknologi sebelum melalui teknologi integrasi. Pengoptimalan dalam perbaikan sistem teknologi integrasi dapat dilakukan dengan penghilangan bahan organik dalam natural koagulan MO yang dilakukan dengan mengekstraksi natural koagulan menggunakan *Sodium Chloride* (NaCl) dan *Sodium Hydroxide* (NaOH) (Muthuraman & Sasikala, 2013).

Penambahan teknologi sebelum melalui FC-HSSFCW yaitu melalui *gravity traps* atau *grease traps* yang umumnya digunakan untuk menghilangkan FOG dari air limbah (Jawaheri, 2010). Pra-perawatan untuk air limbah sebelum memasuki CWs yaitu menggabungkan *grease trap* dengan tangki sedimentasi (Hoffmann, et al., 2010). Dikarena sedimentasi sangat penting dalam pengolahan *pre-treatment*, maka penambahan waktu dalam pengendapan dapat diperlama setelah melalui *flocculation coagulation* mengingat pada penelitian ini hanya 30 menit.

F. Air olahan menjadi air campuran beton

Hasil penelitian yang dilakukan dalam mengolah air limbah batik menggunakan integrasi *flocculation coagulation* dan HSSFCW memiliki efektifitas terbesar pada hari ke 5 dalam mengurangi kandungan COD, TSS, dan minyak lemak masing – masing 89,33%;

98,11%; dan 92,05% serta menyeimbangkan pH menjadi lebih netral yaitu 4,55 menjadi 7,33. Hasil tersebut masih belum memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan oleh Permen LH RI No.5 Tahun 2014 kategori baku mutu air limbah tekstil. Oleh karena itu, penulis melakukan studi literatur mengenai pemanfaatan air hasil olahan limbah batik. Sebuah literatur menyatakan bahwa pemanfaatan air limbah hasil olahan dapat digunakan sebagai air campuran dalam pembuatan beton dengan beberapa persyaratan. Persyaratan tersebut berkaitan dengan karaktestik yang harus dipenuhi sebagai kualifikasi air campuran beton (Mulyono, 2007).

Tabel 2. Persyaratan air campuran beton

No	Parameter	Sat	Awal	FC-HSSF CW	Syarat	Sumber
1.	pH	-	4,55	7,33	6 – 8	(Mulyono, 2007)
2.	COD	mg/l	12.000	1.280	15000	SNI 03 68661.1-2002
3.	TSS	mg/l	3.180	60	2000	(Mulyono, 2007)
4.	ML	mg/l	9.740	774	<2% dari berat semen	(Mulyono, 2007)

Kandungan minyak lemak yang diperbolehkan dalam air campuran air beton yaitu <2% dari berat semen, maka mencari jumlah kandungan minyak lemak penulis mencari literasi penggunaan semen dalam membuat beton. Penggunaan jumlah semen dalam pembuatan beton adalah sebagai berikut:

- a. Beton biasa (Triswasono, 2017) :
 - 1) Berat semen : 500 kg
 - 2) Berat air : 233 kg
- b. Beton *Self Compacting Concrete* (SCC) (Putra, 2018) :
 - 1) Berat semen : 455 kg
 - 2) Berat air : 205 kg

Maka, kandungan minyak lemak yang diperbolehkan dalam penggunaan air campuran semen yaitu:

- a. Beton biasa:
 - 1) Jumlah kandungan minyak lemak dalam air campuran beton yang diperbolehkan

$$2\% \times 500 \text{ kg} = 10 \text{ kg minyak lemak}$$
 - 2) Jumlah kandungan minyak lemak yang terdapat dalam air campuran beton

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis air} &= 1.000 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Berat air} &= 233 \text{ kg} \\ \text{Volume air} &= 233/1.000 \\ &= 0,233 \text{ m}^3 \\ &= 233 \text{ liter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 774 \text{ mg/l} \times 233 \text{ L} &= 180.342 \text{ mg} \\ &= 0,180 \text{ kg minyak lemak} \end{aligned}$$

b. Beton *Self Compacting Concrete* (SCC):

- 1) Jumlah kandungan minyak lemak dalam air campuran beton yang diperbolehkan

$$2\% \times 455 \text{ kg} = 9,1 \text{ kg minyak lemak}$$

- 2) Jumlah kandungan minyak lemak yang terdapat dalam air campuran beton

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis air} &= 1.000 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Berat air} &= 205 \text{ kg} \\ \text{Volume air} &= 205/1.000 \\ &= 0,205 \text{ m}^3 \\ &= 205 \text{ liter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 774 \text{ mg/l} \times 205 \text{ L} &= 158.670 \text{ mg} \\ &= 0,159 \text{ kg minyak lemak} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, jumlah kandungan minyak lemak apabila menggunakan air hasil olahan lebih kecil daripada jumlah kandungan minyak lemak yang diperbolehkan atau diijinkan baik untuk campuran beton biasa maupun beton SCC. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa air hasil olahan FC-HSSF CW dengan kandungan COD, TSS dan minyak lemak telah memenuhi syarat dalam penggunaan air campuran beton untuk beton biasa dan beton *Self Compacting Concrete* (SCC).

SIMPULAN

Integrasi sistem pengolahan *flocculation coagulation* dan *Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland* (FC-HSSF CW) dengan penambahan *Moringa Oleifera seeds powder* dosis 750 mg/l menunjukkan hasil optimum pada waktu retensi (HRT) 5 hari yang menetralkan pH menjadi 7.33 dan menurunkan COD (89.3%); TSS (98.1%); dan minyak lemak (92.1%). Air hasil pengolahan FC-HSFCW belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan oleh Permen LH RI No. 5 Tahun 2014 sehingga belum aman untuk dibuang ke lingkungan tetapi sudah dapat dimanfaatkan sebagai air campuran beton. Penelitian lebih lanjut diperlukan dalam pengoptimalan hasil pengolahan FC-HSSF CW, baik melalui perbaikan sistem dalam teknologi tersebut maupun dengan penambahan teknologi sebelum melalui teknologi integrasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Gheeti, A. et al., 2017. Efficiency of *Moringa Oleifera* Seeds for Treatment of Laundry Wastewater. *MATEC Web of Conference*, p. 103.
- Amagloh, K. F. & Benang, A., 2009. Effectiveness of *Moringa oleifera* Seed as Coagulant for Water

- Purification. *African Journal of Agricultural Research*, pp. 119-123.
- Andreo-Martínez, P., García-Martínez, N. & Amela, L., 2016. Domestic Wastewater Depuration Using a Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland and Theoretical Surface Optimization: A Case Study under Dry Mediterranean Climate. *Water*, 8(434), pp. 1-18.
- Bichi, M. H., 2013. A Review of The Applications of MO Seeds Extract in Water Treatment. *Civil and Environmental Research*, 3(8).
- Billore, S. K., Prashant & Sharm, J. K., 2009. Treatment performance of artificial floating reed beds in an experimental mesocosm to improve the water quality of river Kshipra. *IWA Publishing*.
- Birgani, P. M. et al., 2016. An Efficient and Economical Treatment for Batik Textile Wastewater Containing High Levels of Silicate and Organic Pollutants using a Sequential Process of Acidification, Magnesium Oxide, and Palm Shell-Based Activated Carbon Application. *Journal of Environmental Management*, Issue 184, pp. 229-239.
- Camacho, F. P., Sousa, V. S., Bergamasco, R. & Teixeira, M. R., 2016. The Use of Moringa Oleifera As A Natural Coagulant in Surface Water Treatment. *Chemical Engineering Journal*, pp. 1-34.
- Charoenlarp, K. & Prabphane, P., 2015. Ecofriendly Decolorization of Textile Wastewater using Natural Coagulants. *Researchgate*, pp. 45-55.
- Chusan, T., Makky, E. A., Ali, E. N. & Al Matar, M., 2014. The Use of Moringa Oleifera Seed as a Natural Coagulant for Wastewater Treatment and Heavy Metals Removal. *Jokull Journal*, 64(8), pp. 188-200.
- De Paoli, A. C. & Sperling, M. V., 2013. Evaluation of clogging in planted and unplanted horizontal subsurface flow constructed wetlands: accumulation and hydraulic conductivity reduction. *IWA Publishing*, pp. 1345-1352.
- Dehghani, M. & Alizadeh, M. H., 2016. The Effects of the Natural Coagulant Moringa Oleifera and Alum in Wastewater Treatment at the Banda Abbas Oil Refinery. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 3(4), pp. 225-230.
- Duran-Dominguez-de-Bazua, M. d. C., Wavarro-Frometa, A. E. & Bayona, J. M., 2018. *Artificial or Constructed Wetlands: a Suitable Technology for Sustainable Water Management*. s.l.:CRC Press.
- Efendi, H., Sari, R. D. & Hasibuan, S., 2015. Moringa Oleifera as Coagulant for Batik Effluent Treatment. *International Association for Impact Assessment (IAIA 15) Conference*, pp. 1-6.
- Egbiukwem, P. N. & Sangodoyin, A. Y., 2013. Coagulation Efficacy of Moringa Oleifera Seed Extract Compared to Alum for Removal of Turbidity and E. Coli in Three Different Water Sources. *European International Journal of Science and Technology*, 2(7), pp. 13-19.
- El Enshasy, H. A. et al., 2017. Mycoremediation: Decolorization Potential of Fungal Lignolytic Enzymes. In: *Mycoremediation and Environmental Sustainability, Volume 1 Fungal Biology*. India: Springer International Publishing, p. 240 pages.
- ElZein, Z., Abdou, A. & ElGawad, I. A., 2016. Constructed Wetlands as a Sustainable Wastewater Treatment Method in Communities. *Procedia Environmental Sciences*, Volume 34, pp. 605-617.
- Eskani, I. N., Carlo, I. D. & Suleman, 2005. Efektifitas Pengolahan Air Limbah Batik dengan Cara Kimia dan Biologi. *ejournal.kemenperin.go.id*, Volume 22, pp. 16-27.
- Formentini-Dchmitt, D. M. et al., 2013. Ultrafiltration Combined with Coagulation/Flocculation/Sedimentation using Moringa Oleifera as Coagulant to Treat Dairy Industry Wastewater. *Springer Science + Business Media*, 224(1682), pp. 1-10.
- Freitas, T. et al., 2015. Optimization of Coagulation-Flocculation Process for Treatment of Industrial Textile Wastewater Using Okra (A. Esculents) Mucilage as Natural Coagulant. *Industrial Crops and Products*, pp. 538-544.
- Hendrawati, et al., 2016. The use of Moringa Oleifera Seed Powder as Coagulant to Improve the Quality of Wastewater and Ground Water. *Earth and Environmental Science*, pp. 1-10.
- Hoffmann, H., Plazter, C., Münch, E. v. & Winker, M., 2010. Overview of subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment in developing countries. In: E. v. Münch, ed. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ), p. 36.
- Husain, I. A. F. et al., 2014. Problems, Control, and Treatment of Fat, Oil, and Grease (FOG): A Review. *Journal of Oleo Science*, 63(8), pp. 747-752.
- Idris, M. A., Jami, M. S., Hammed, A. M. & Jamal, P., 2016. Moringa Oleifera Seed Extract: A Review on Its Environmental Applications. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 11(6), pp. 1469-146.
- Indro Wardono, H. R., Abdullah, S. & Budiono, Z., 2017. Scouring-Rush Horsetail's (Equisetum hyemale) Capability to Reduce Detergent, COD and Phosphat (PO₄) Levels of Laundry Wastewater in Purwokerto in 2016. *International Conference on*

- Applied Science and Health* 2017, Issue ICASH-A27.
- Jawaheri, R. A., 2010. The Use of Constructed Wetlands for the Treatment of Dairy Processing Wastewater. p. 34.
- Kadlec, R. H. & Wallace, S. D., 2009. Treatment Wetlands. In: L. Taylor & Francis Group, ed. *Treatment Wetlands : Second Edition*. Amerika: CRC Press, p. 965.
- Khalik, W. F. et al., 2015. Decolorization and Mineralization of Batik Wastewater through Solar Photocatalytic Process. *Sains Malaysiana*, 4(44), pp. 607-612.
- Madrona, G. S. et al., 2017. Use of Moringa Oleifera in Combined Coagulation-Filtration Process for Water Treatment. *The Italian Association of Chemical Engineering*, Volume 57, pp. 1195-1200.
- Mghaoui, M. E., 2018. *DESIGN OF A CONSTRUCTED WETLAND FOR TROUT WASTEWATER TREATMENT*, Morocco: al akhawayn university.
- Mukimin, A. et al., 2018. Performancr of Bioequalization-Electrocatalytic Integrated Method for Pollutants Removal of Hand-Drawn Batik Wastewater. *Jurnal of Water Process Engineering*, pp. 77-83.
- Mustafa, A., 2013. Constructed Wetland for Wastewater Treatment and Reuse: A Case Study of Developing Country. *International Journal of Environmental Science and Development*, 4(1), pp. 20-24.
- Muthuraman, G. & Sasikala, S., 2013. Removal Of Turbidity From Drinking Water Using Natural Coagulants. *Journal of Industry and Engineering Chemistry*, pp. 1-5.
- Ndabigengesere, A. & Narasiah, K. S., 2010. Use of Moringa Oleifera Seeds as a Primary Coagulant in Wastewater Treatment. *Environmental Technology*, 19(8), pp. 789-800.
- Nurhasanah, S., Sudrajat, R. L., Srinovita, Y. & Trisnawati, E., 2016. Optimization of Batik Fashion Based Cultural Heritage as a Competitive Advantage in Anticipating ASEAN Economic Commodity (AEC) 2015. *Proceeding of The IRES 29th International Conference*, Issue 29, pp. 18-23.
- Olanrewaju, O. O., Jegede, O. J. & Adeoye, I. A., 2018. Comparisson of the Coagulation Efficiency of MO (Linnaeus) on Wastewater at Lower and Higher Concentration Levels. *International Journal of Engineering Science and Application*, 2(3), pp. 98-105.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, n.d. s.l.:s.n.
- Qin, R. & Chen, H., 2016. The Procession of Constructed Wetland Removal Mechanism of Pollutant. *International Conference on Mechanical Materials and Manufacturing Engineering*, pp. 568-570.
- Qomariyah, S., Sobriyah, Koosdaryani & Muttaqien, A. Y., 2017. Lahan Basah Buatan sebagai Pengolahan Limbah Cair dan Penyedia Air Non-Konsumsi. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil Universitas Sebelas Maret*, 1(1), pp. 25-32.
- Raman, C. D. & Kanmani, S., 2016. Textile Dye Degradation Using Nano Zero Valent Iron: A Review. *Journal of Environmental Management*, Issue 177, pp. 341-355.
- Rao, L. N., 2015. Coagulation and Flocculation of Industrial Wastewater by Chitosan. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, 2(7), pp. 2394-3661.
- Rashidi, H. R., Nik Sulaiman, N. M. & Hashim, N. A., 2012. Batik Inudstry Synthetic Wastewater Treatment Using Nanofiltration Membrane. *Procedia Engineering*, pp. 142-144.
- Rashidi, H. R., Nik Sulaiman, N. M., Hashim, N. A. & Che Hassan, C. R., 2013. Synthetic Batik Wastewater Pretreatment Progress by Using Physical Treatment. *Advanced Materials Research*, Volume 627, pp. 394-398.
- Realtech Inc, 2018. *Realtech Water*. [Online] Available at: www.realtechwater.com [Accessed 8 September 2019].
- Saeed, T. & Sun, G., 2012. A Review on Nitrogen and Organic Removal Mechanism in Subsurface Flow Constructed Wetlands: Dependency on Environmental Parameters, Operating, and Supporting Media. *Journal of Environmental Management*, Issue 112, pp. 429-448.
- Sari, R. A., Pinem, J. A. & Daud, S., 2016. Pemanfaatan Biji Kelor (Moringa Oleifera) sebagai Koagulan pada Pengolahan Air Payau menjadi Air Minum menggunakan Proses Koagulasi Ultrafiltrasi. *Jurnal FTEKNIK*, 3(1), pp. 1-7.
- Satterfield, Z., 2005. Jar Testing. *National Environmental Service Center*, 5(1), pp. 1-4.
- Shamsnejati, S., Chaibakhsh, N., Pendashteh, A. R. & Hayeripour, S., 2015. Mucilaginous Seed of Ocimum Basilicomas a Natural Coagulant for Textile Wastewater Treatment. *Industrial Crops and Products*, Issue 69, pp. 40-47.
- Shelef, O., Gross, A. & Rachmilevit, S., 2013. Role of Plants in a Constructed Wetland: Current and New Perspectives. *Water*, Volume 5, pp. 405-419.
- Steelyana, E., 2012. Batik, a Beautiful Cultural Heritage that Preserve Culture and Support

- Economic Development in Indonesia. *BINUS Business Review*, 3(1), pp. 16-130.
- Suswati, A. C. S. P. & Wibisono, G., 2013. Pengolahan Limbah Domestik Dengan Teknologi Taman Tanaman Air (Constructed Wetlands). *Indonesian Green Technology Journal*, 2(2), pp. 70-77.
- Sutisna, et al., 2017. Batik Wastewater Using TiO₂ Nanoparticles Coated on the Surface of Plastic Sheet. *Engineering Physics International Conference, EPIC 2016*, Volume 170, pp. 78-83.
- Sutrisno & Wulandari, D., 2018. Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) untuk Memperkaya Hasil Penelitian Pendidikan. *Aksioma*, 9(1), pp. 37-53.
- Technical Learning College, 2018. Flocculation Coagulation. In: J. Camerata, ed. *Flocculation Coagulation*. ISBN 978-0-9799559-3-8 ed. ChinoValler: Technical Learning College, p. 595.
- Travaini-Lima, F. & Sipaub-Travars, L. H., 2012. Efficiency of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Acta Limnologia Brasiliensia*, 24(3), pp. 255-265.
- Tunggolou, J. & Payus, C., 2017. Moringa Oleifera as Coagulant Used in Water Purification Process for Consumption. *Earth Science Pakistan*, 1(2), pp. 1-3.
- Vymazal, J., 2010. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Water*, Volume 2, pp. 530-549.
- Vymazal, J., 2014. Constructed Wetlands for Treatment of Industrial Wastewater: A Review. *ScienceDirect: Ecological Engineering*, Issue 73, pp. 724-751.
- Vymazal, J. et al., 1998. See discussions, stats, and author profiles for this publication Removal Mechanisms and Types of Constructed Wetlands. pp. 17-66.
- Vymazal, J. & Kröpfelová, L., 2009. Removal of Organics In Constructed Wetlands With Horizontalsub-Surface Flow: A Review of The Field Experience. *Science of the Total Environment*, Issue 407, pp. 3911-3922.
- Wallace, S. D. & Knight, R. L., 2006. *Small-Scale Constructed Wetland Treatment Systems : Feasibility, Design, and O & M Requirements*. London: IWA Publishing.
- Wardono, H. R. I., Abdullah, S. & Budiono, Z., 2017. Scouring-Rush Horsetail's (*Equisetum hyemale*) Capability to Reduce Detergent, COD and Phosphat (PO₄) Levels of Laundry Wastewater in Purwokerto in 2016. *International Conference on Applied Science and Health 2017*, Volume ICASH-A27, pp. 160-167.
- Weerakoon, G. M. P. R. et al., 2018. Applicability of Constructed Wetlands for Water Quality Improvement in a Tea Estate Catchment : The Pwsellawa Case Study. *Water*, 10(332), pp. 2 - 12.
- Zahidi, M. S., 2017. Batik as Indonesian Public Diplomacy in ASEAN Economic Community (AEC). *International Journal of International Relations, Media and Masa Communication Studies*, III(2), pp. 1-9.